

52. Internationale PhysikOlympiade Belarus 2022*



Wettbewerbsleitung

Dr. Stefan Petersen Dürken Quaas
Tel.: 0431 / 880 - 5120 Tel.: 0431 / 880 - 5387
email: petersen@ipho.info email: quaas@ipho.info

Anschrift: IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik
Olshausenstraße 62 · 24118 Kiel
web: www.ipho.info twitter: @iphogermany

Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 52. IPhO 2022

Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!

In der Klausur sind **maximal 80 Punkte** zu erreichen;
in den Multiple-Choice Aufgaben 35 Punkte und bei den längeren Aufgaben 45 Punkte.

Ich versichere, die Klausur entsprechend den Regeln und Hinweisen, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 180 Minuten geschrieben zu haben.

Name: *Name* **Schülercode:** *Code*

Unterschrift: _____

*Die 52. IPhO ist aktuell in Belarus vorgesehen. Eine Entscheidung über die Entsendung eines deutschen Teams wird unter Berücksichtigung der politischen und epidemiologischen Lage sowie der logistischen Gegebenheiten getroffen.

Multiple-Choice Aufgaben

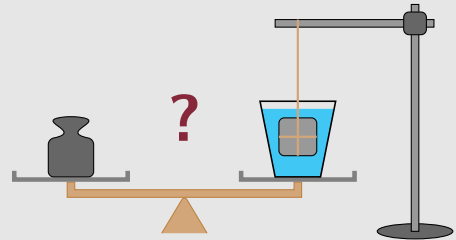
Finde zu jeder der folgenden sieben Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

Aufgabe 1 Stein im Wasserglas (MC-Aufgabe)

(5 Pkt.)

Auf einer Waage steht ein mit Wasser einer Dichte von 1000 kg m^{-3} gefülltes Glas. Durch Auflegen eines Massestückes wird die Waage ins Gleichgewicht gebracht.

Nun wird, wie in der Abbildung gezeigt, ein Stein mit einem Volumen von 300 cm^3 und einer Dichte von 3000 kg m^{-3} an einem dünnen Faden an einem Stativ hängend in das Wasser eingetaucht, ohne den Boden zu berühren.



Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?

Um die Waage ins Gleichgewicht zu bringen, muss ...

- A ... nichts unternommen werden, da die Waage im Gleichgewicht bleibt.
- B ... ein Massestück einer Masse von $0,3 \text{ kg}$ auf die linke Seite der Waage gelegt werden.
- C ... ein Massestück einer Masse von $0,6 \text{ kg}$ auf die linke Seite der Waage gelegt werden.
- D ... ein Massestück einer Masse von $0,9 \text{ kg}$ auf die linke Seite der Waage gelegt werden.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 2 Feuchte Badezimmerluft (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Nach einer ausgiebigen Dusche beträgt die Temperatur im Badezimmer 28°C und die relative Luftfeuchtigkeit liegt bei 80 %.

In der nebenstehenden Abbildung ist die Sättigungsdampfdruckkurve für Wasserdampf dargestellt. Sie gibt den maximalen Wasserdampfdruck p_{sat} an, der bei einer Temperatur ϑ möglich ist, bevor der Wasserdampf in der Luft kondensiert.

Wie viel Wasserdampf (in g m^{-3}) befindet sich in der Luft im Badezimmer?

Verwende für die molare Masse von Wasser den Wert $M_{\text{Wasser}} = 18,0 \text{ g mol}^{-1}$.

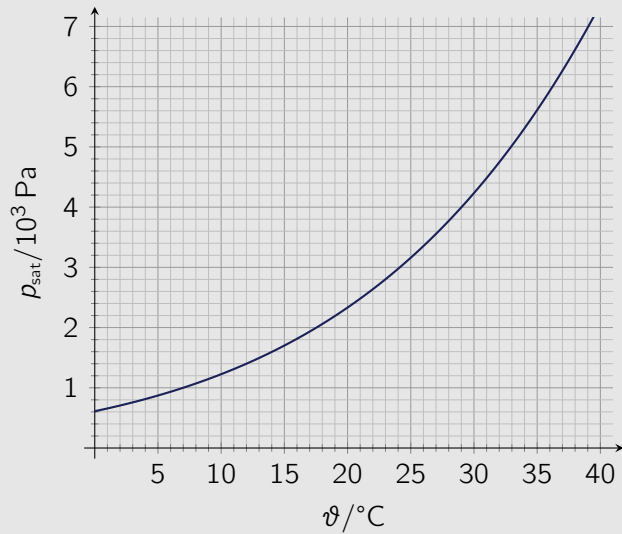


Abb. 1. Sättigungsdampfdruckkurve für Wasserdampf.

- A etwa 22 g m^{-3} B etwa 27 g m^{-3} C etwa $2,3 \cdot 10^2 \text{ g m}^{-3}$ D etwa $3,0 \cdot 10^3 \text{ g m}^{-3}$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 3 Fall auf Exoplanet (MC-Aufgabe)**(5 Pkt.)**

Auf der Oberfläche eines extrasolaren Planeten – kurz: Exoplaneten – ist die Fallzeit eines Körpers aus einer kleinen Höhe h unter Vernachlässigung aller Reibungseffekte genau doppelt so groß, wie auf der Erde.

Welche der folgenden Aussagen ist damit vereinbar, wenn man von einem kugelsymmetrischen Aufbau des Exoplaneten ausgeht?

Der Exoplanet hat ...

- A ... die halbe Erdmasse und den doppelten Erdradius.
- B ... genau die Erdmasse und vierfachen Erdradius.
- C ... die doppelte Erdmasse und den doppelten Erdradius.
- D ... die vierfache Erdmasse und den vierfachen Erdradius.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 4 Bleiglasfenster (MC-Aufgabe)**(5 Pkt.)**

Räume mit Röntgengeräten werden durch dicke Wände und Fenster aus Bleiglas abgeschirmt. Ein Bleiglasfenster mit einer Dicke von 2,0 cm kann bereits 75 % der Intensität von Röntgenstrahlung abschirmen.

Wie dick muss das Bleiglasfenster sein, damit die Intensität der Strahlung hinter dem Fenster nur noch 1 % der Intensität vor dem Fenster beträgt?

A etwa 2,7 cm

B etwa 4,0 cm

C etwa 6,6 cm

D etwa 9,2 cm

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

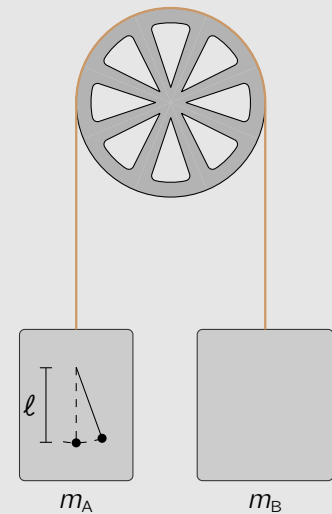
Aufgabe 5 Pendel im Fahrstuhl (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Zwei Fahrstuhlkabinen der Massen m_A und m_B mit $m_A < m_B$ hängen an den Enden eines langen Seiles, das über eine feste Rolle geführt ist. Die Masse der Rolle und des Seils können vernachlässigt werden. In der linken Kabine hängt ein Fadenpendel der Länge ℓ . Bei ruhenden Kabinen und kleinen Auslenkungen beträgt die Periodendauer des Pendels T .

Wenn die Kabinen losgelassen werden, bewegen diese sich reibungsfrei unter dem Einfluss der Schwerkraft.

Wie muss die Länge ℓ' des Fadenpendels in der linken Kabine gewählt werden, damit es nach dem Loslassen der Kabine mit der Periode T schwingt?

- A $\ell' = \frac{m_A}{m_B} \ell$ B $\ell' = \frac{2m_A}{m_A+m_B} \ell$ C $\ell' = \frac{2m_B}{m_A+m_B} \ell$ D $\ell' = \frac{m_B}{m_A} \ell$


Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 6 Spektren (MC-Aufgabe)
(5 Pkt.)

Die Atome eines fiktiven Elements nehmen Zustände auf den Energiestufen

$$E_n = -\frac{C}{n^2} \quad \text{mit } n = 1, 2, \dots$$

an. Dabei ist C eine Konstante. Nur Linien der Serie der Übergänge in den Grundzustand $n = 1$ liegen im optischen Bereich, diese aber vollständig.

Welches der nachfolgend gezeigten, linear in der Wellenlänge skalierten Spektren stellt die Emissionslinien des beschriebenen Elements korrekt dar?

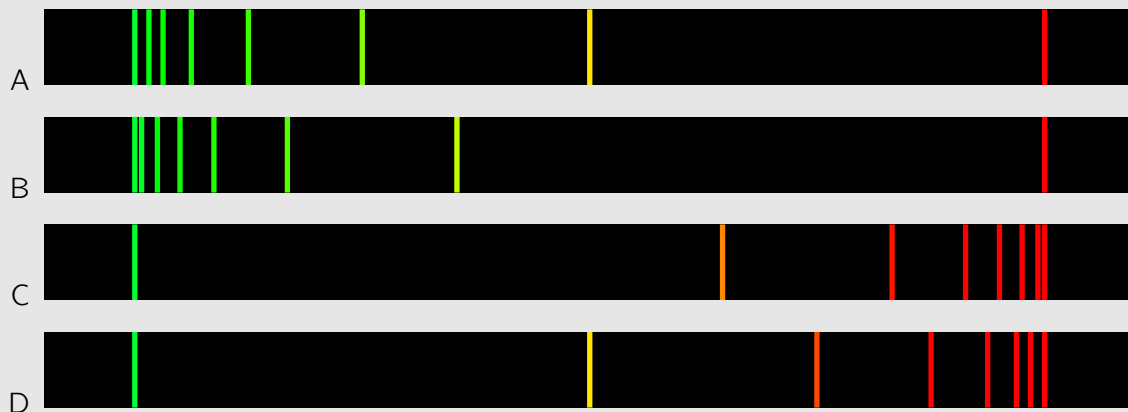


Abb. 2. Optische Emissionsspektren.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 7 Erderwärmung stoppen (MC-Aufgabe)**(5 Pkt.)**

Der verrückte Wissenschaftler Knox hat eine Methode gefunden, die Erderwärmung zu stoppen. Dazu will er den Radius r der als kreisförmig angenommenen Erdbahn um 1,0 % vergrößern.

Um wieviel könnte dabei die mittlere Temperatur T an der Erdoberfläche, die momentan etwa $15\text{ }^\circ\text{C}$ beträgt, ungefähr sinken?

A etwa 0,7 K

B etwa 1,4 K

C etwa 2,8 K

D etwa 5,6 K

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Langaufgaben

Bearbeite die folgenden drei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

Aufgabe 8 Negativer Brechungsindex

(10 Pkt.)

Bestimmte Materialien besitzen, in der Regel für einen engen Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung, einen negativen Brechungsindex. Geht ein Lichtstrahl von einem Medium mit einem Brechungsindex $n_1 > 0$ in ein Medium mit einem Brechungsindex $n_2 < 0$ über, so gilt weiterhin das Brechungsgesetz

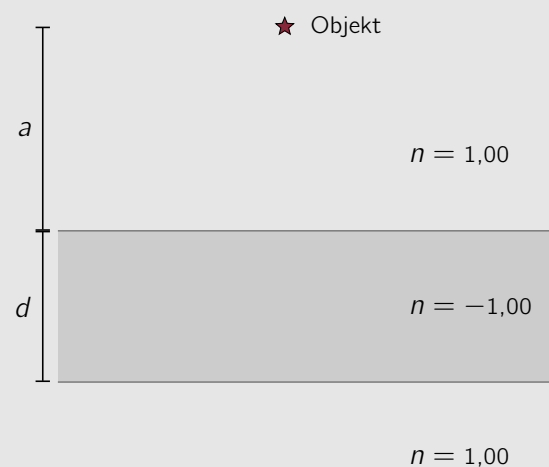
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 .$$

Allerdings ist der Winkel α_2 dann negativ.

Ein sehr kleines Objekt befindet sich, wie nebenstehend skizziert in einem Abstand a vor einer großen Platte der Dicke d , die aus einem Material mit Brechungsindex -1 besteht. Der Brechungsindex des übrigen Raumes sei 1 .

Konstruiere das auf der anderen Seite der Platte zu sehende Bild des Objektes. Gib an, wo sich das Bild befindet, welche Vergrößerung es besitzt, ob das Bild reell bzw. virtuell, gespiegelt oder rotiert ist.

Berücksichtige dabei, dass a beliebige positive Werte annehmen kann.



Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Aufgabe 9 Zyklotron
(20 Pkt.)

Bis in die 50er Jahre des letzten Jahrhunderts waren Zyklotrons die leistungsfähigsten Teilchenbeschleuniger.

Ein Zyklotron besteht aus zwei hohlen, halbkreisförmigen Elektroden in einem homogenen magnetischen Feld der Flussdichte B , das senkrecht zu den Elektroden orientiert ist. Zwischen den Elektroden befindet sich ein sehr schmaler Spalt über den eine von der Zeit t abhängige Hochfrequenzspannung der Form

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t)$$

angelegt ist. Dabei bezeichnen U_0 die Amplitude und ω die Kreisfrequenz der Spannung.

Geladene Teilchen werden in die Mitte der Anordnung eingebracht. Die Frequenz der Spannung ist so eingestellt, dass die Teilchen bei jedem Durchqueren des Spaltes beschleunigt werden.

Dadurch bewegen sie sich näherungsweise auf einer Spiralbahn nach außen, bis sie nach vielen Umläufen an den Rand der Anordnung gelangen, wo sie das Zyklotron verlassen (vgl. Abb. 3).

Betrachte ein Zyklotron, wie es von dessen Erfinder E.O. Lawrence Ende der 1930er Jahre entwickelt wurde. Die Elektroden des Zyklotrons besaßen einen Radius von $R = 0,76 \text{ m}$ und die über den Zyklotronquerschnitt näherungsweise konstante magnetische Flussdichte betrug $B = 0,71 \text{ T}$. In dem Zyklotron wurden Protonen mit einer Ladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ und einer Masse $m = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ beschleunigt. Die Amplitude der Hochfrequenzspannung betrug dabei $U_0 = 87 \text{ kV}$. Vernachlässige bei der Betrachtung relativistische Effekte.

- 9.a) Leite einen Ausdruck für die zum Beschleunigen der Protonen notwendige Kreisfrequenz ω her und gib den Wert der Kreisfrequenz für den beschriebenen Aufbau an. (4 Pkt.)
- 9.b) Bestimme die kinetische Energie sowie die Geschwindigkeit der Protonen beim Verlassen des Zyklotrons. Begründe, warum das Vernachlässigen relativistischer Effekte für diese Aufgabe eine gute Näherung darstellt. (4 Pkt.)
- 9.c) Berechne die Anzahl der Umläufe, die ein Proton in dem Zyklotron mindestens macht, bevor es aus diesem austritt, und ebenfalls die Zeit, die es sich dabei in dem Zyklotron aufhält. (5 Pkt.)

Wenn statt der Protonen Elektronen, die eine Masse von $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ besitzen, beschleunigt werden, spielen relativistische Effekte schneller eine Rolle.

- 9.d) Betrachte Elektronen, die auf die in Aufgabe 9.b) bestimmte kinetische Energie beschleunigt

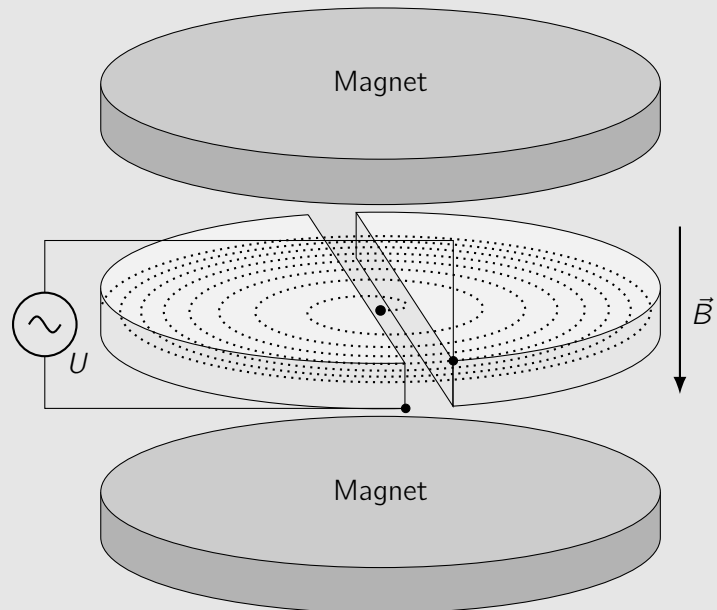


Abb. 3. Nicht maßstabsgerechte Skizze eines Zyklotrons. Die Vakuumkammer, die die Elektroden einschließt, ist nicht mit eingezeichnet.

wurden und zeige, dass deren Geschwindigkeit sehr nah an der Lichtgeschwindigkeit liegt. (4 Pkt.)

Bei diesen sehr hohen Geschwindigkeiten muss die relativistische Massenzunahme der Elektronen berücksichtigt werden, die dazu führt, dass die Geschwindigkeit der Elektronen in dem Zyklotron nicht mehr in jedem Umlauf in dem Maße zunimmt, wie es erforderlich wäre, um beim nächsten Umlauf erneut beschleunigt zu werden. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, ist, das Magnetfeld bei fester Hochspannungsfrequenz nach außen hin stärker werden zu lassen.

9.e) Leite einen Ausdruck für die dafür notwendige magnetische Flussdichte in Abhängigkeit von dem Abstand r vom Zentrum des Zyklotrons ab. (3 Pkt.)

Antwortteil

9.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck und Wert für die Kreisfrequenz ω :

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für kinetische Energie und Geschwindigkeit der Protonen:

9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Anzahl der Umläufe und Zeit im Zyklotron der Protonen:

9.d)

Rechnungen und Erläuterungen

9.e)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck für die magnetische Flussdichte:

Aufgabe 10 Kapazitives Oktaedernetzwerk
(15 Pkt.)

Zwölf identische Kondensatoren der Kapazität C sind, wie nebenstehend gezeigt, in einem symmetrischen Kondensatornetzwerk in Form eines Oktaeders verbunden.

- 10.a) Bestimme die Gesamtkapazität des Kondensatornetzwerks zwischen den Eckpunkten A und B. (5 Pkt.)
- 10.b) Bestimme die Gesamtkapazität des Kondensatornetzwerks zwischen zwei benachbarten Eckpunkten. (10 Pkt.)

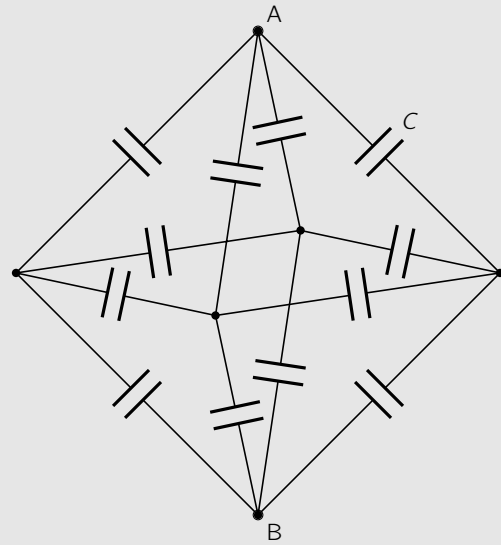


Abb. 4. Skizze des Kondensatornetzwerkes.

Antwortteil

- 10.a) Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für Kapazität des Kondensatornetzwerks zwischen den Eckpunkten A und B:

10.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für Kapazität des Kondensatornetzwerks zwischen benachbarten Eckpunkten:

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Graph

